

南海油气藏类型及分布规律

吴敬武^{1,2}, 孙国忠^{1,2}, 鲁银涛^{1,2}, 张强^{1,2}, 王彬^{1,2},
杨涛涛^{1,2}, 杨志力^{1,2}, 李丽^{1,2}, 张远泽^{1,2}

1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室

摘要 通过对南海周边新生代板块活动的分析,认为南海构造演化由太平洋板块、欧亚板块和印度板块等3大板块间的相互作用所控制,并可分为断陷阶段(E)、断拗转换阶段(N_1 — N_2)和区域性沉降阶段(N_3 —现今)。将南海已发现油气藏归纳为构造圈闭型、岩性圈闭型和复合型3大类,进一步将构造圈闭型分为背斜型、断背斜型、断块(鼻)型3个亚类,将岩性圈闭型分为生物礁滩型和深水水道型2个亚类,将复合型分为构造-岩性型和基岩潜山型2个亚类,并对典型油气藏特征进行了分析。总结了南海油气藏在平面和纵向上的分布特征,认为南海演化的不同阶段形成了不同的圈闭类型和不同的储层,从而控制了3大类油气藏的分布。平面上,构造型油气藏主要分布在南海的南北两侧靠近大陆边缘地区,以油为主;生物礁滩型油气藏分布在远陆缘区,以气为主;而西部的走滑断陷盆地除了发育构造型油气藏,还发育复合型油气藏,西北部以构造-岩性型为主,西南部基岩潜山型占优势。纵向上,构造型、生物礁滩型油气藏发育均有北早南晚的特点;西部走滑盆地复合型油气藏发育层位北部比南部更新;深水水道型油气藏集中在上中新统—上新统,发育层位最新。

关键词 构造活动; 构造演化; 油气藏类型; 油气分布; 南海

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

0 前言

南海是西太平洋最大的边缘海,面积约为 $350\times 10^4\text{ km}^2$,蕴藏着丰富的油气资源。迄今为止,在南海已发现流花11-1油田、荔湾3-1气田、崖13-1气田、东方1-1气田、L构造气田、F6油气田、白虎油田和马兰帕亚(Malampaya)油气田等大型—特大型油气田以及一大批中小型油气田。

前人对南海区域地质构造已进行了较深入的研究,郭令智等^[1]认为南海在渐新世—更新世处于张性微扩张的裂谷阶段;林长松等^[2]通过大量地震资料研究,认为南海在新生代经历了7次较大的构造运动;谢锦龙等^[3]、胡见义^[4]、姚伯初^[5]和蔡乾忠^[6]等也都认为南海的构造演化可以划分为断陷期、断拗转换期、拗陷期3个阶段;解习农等^[7]对南海不同构造边界进行了研究,认为南海北部是离散型陆缘、西部是走滑伸展型陆缘、南部是伸展-挠曲复合型陆缘,进而认为不同性质陆缘的盆地演化差异对油气成藏具有控制作用。还有学者对南海的油气田特征进行了剖析;

寇养琦等^[8]剖析了崖13-1、流花11-1及大熊油田的油气地质综合特征,以此对比分析中国东南海域地区的油气前景;吴敬武等^[9]曾分析了南海5个典型油气藏的石油地质条件及控制因素;史建南等^[10]、孙嘉陵^[11]、陈红汉等^[12]、胡忠良等^[13]从不同角度对崖13-1气田的地质条件进行了深入的解析。

尽管如此,就目前来说,将南海的油气藏特征与整个区域构造演化与盆地发育相结合进行分析的研究较少。因此,本文通过研究南海地区的构造演化,结合盆地发育特征,系统地分析已发现油气藏的成藏条件,探讨油气藏类型及其时空分布规律,以期对南海的油气勘探开拓新的思路。

1 构造地质背景

南海位于欧亚板块东南部,新生代发育了20多个含油气盆地(图1),其构造演化主要受欧亚板块与太平洋板块、欧亚板块与印度板块相互作用的影响(表1)。同时因南海各盆地所处的地理位置、构造位置的不同,各盆地的构造演化又有自己独

收稿日期: 2019-06-11; 改回日期: 2019-08-20

本文受国家科技重大专项下课题“南海中建海域深水油气地质条件及目标评价”(编号: 2017ZX05026-006)资助

第一作者: 吴敬武, 硕士, 高级工程师, 主要从事盆地构造及油气成藏研究。通信地址: 310023 浙江省杭州市西溪路920号中国石油杭州地质研究院; E-mail: wujw_hz@petrochina.com.cn

特的特点。

新生代以来,南海构造演化可划分为3期(表1):古新世—渐新世大陆裂离阶段及第一次海底扩张阶段(断陷期)、早中新世—中中新世第二次海底扩张阶段(断拗转换期)及晚中新世—现今区域性热沉降阶段(拗陷期)。相应地,南海北部、西部及南海南部的北康盆地、南薇西盆地等新生代沉积盆地的

构造演化也可划分为3个阶段(图2)。E₃²—N₁期间,南海海盆发生了扩张,形成海盆北、南2个陆缘。在纵向上,新生代以来南海发生了多次构造运动^[2](表1)。各演化阶段在不同盆地表现的强弱不同,造成不同盆地油气分布特征有所差异。总的来说,南海油气分布与南海构造演化的3个阶段和南海海盆扩张密切相关。

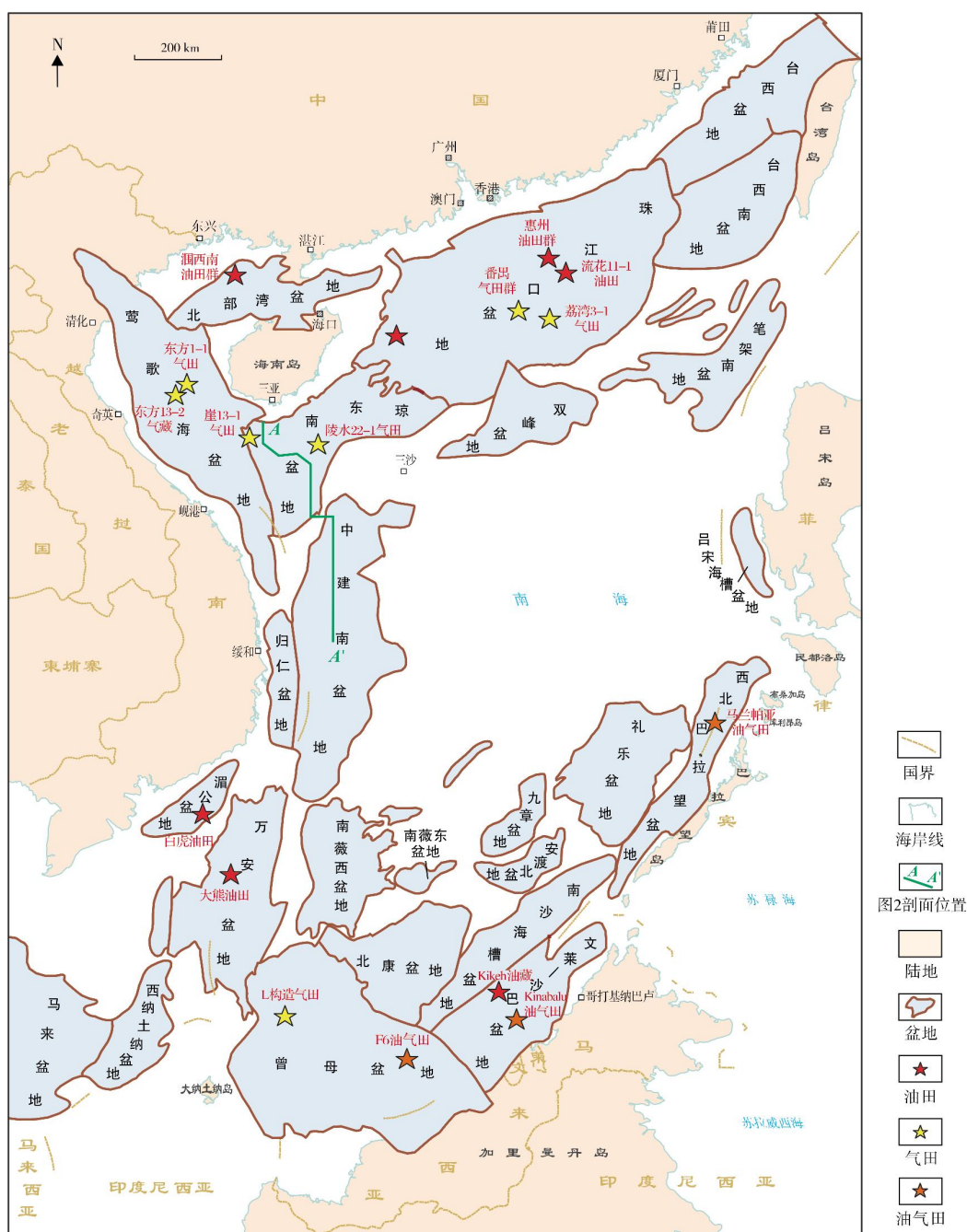


图1 南海盆地及典型大油气田分布图

表 1 南海新生代主要构造运动

地质年代			代号	地层组	地震反射层	地质年龄/ Ma	南海南部构造运动	南海北部构造运动	构造背景	演化阶段	
第四纪			Q								
新近纪	上新世		N ₂	莺歌海组	T0	1.6	南沙运动	东沙运动	吕宋弧与台湾主体碰撞	拗陷期	
					T30	5.5			块体碰撞及抬升作用		
	中新世	晚	N ₁ ³	黄流组	T40	10.5			菲律宾海板块南端俯冲带与澳大利亚板块北端碰撞	断拗转换期	
		中	N ₁ ²	梅山组	T50	15.5					
		早	N ₁ ¹	三亚组	T60	23.8					
	古近纪	渐新世	晚	E ₃ ²	陵水组	T70			30.0	南海运动	南海运动
早			E ₃ ¹	崖城组	T80	36.0					
始新世		晚	E ₂ ³	岭头组		印度板块与欧亚板块硬碰撞					
		中	E ₂ ²								
		早	E ₂ ¹								
古新世		晚	E ₁ ²			50.0	印度板块与欧亚板块俯冲碰撞				
		早	E ₁ ¹								
中生代					Tg	65.0	礼乐运动	神狐运动			

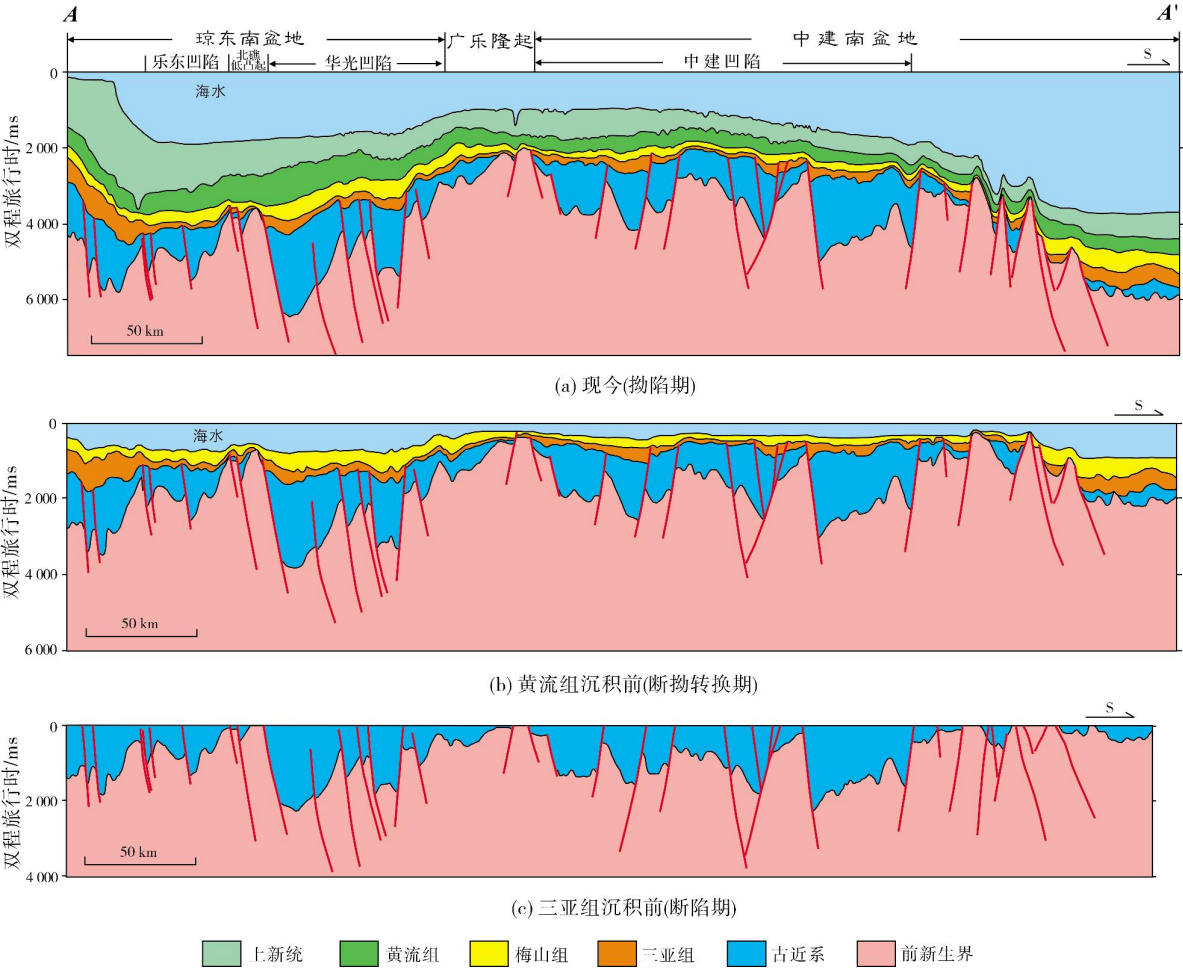


图2 南海北部新生代构造演化示意图

剖面位置见图1

断陷阶段南海以NW—SE向拉张作用为主,原拼贴于华南陆缘的西沙、中沙和南沙等微地块向东南方向裂离,形成了一系列NNE—NE向展布的断陷盆地^[1,14-18]。该阶段主要沉积了始新统、渐新统崖城组和陵水组等地层,是烃源岩和储集砂岩(陵水组三角洲相—滨浅海相砂岩)的主要发育期。断陷早期为陆相充填,晚期为逐渐过渡的海陆过渡相和海相充填。

晚渐新世(约32 Ma左右),在3大板块运动的影响下,南海开始出现洋壳,进入海底扩张阶段。海底扩张可分为2期。早期的NE向扩张脊,扩张时间短,形成了NE向西南次海盆和西北次海盆。在25 Ma左右,菲律宾海板块南端与澳大利亚板块北端发生碰撞,导致南海早期扩张停止,南海地区区域性抬升、剥蚀。同时在南海南部,古南海则向南俯冲消亡于加里曼丹北缘之下,此过程一直持续到早中新世^[19]。

早中新世—中中新世,南海发生了二次海底扩张(晚期扩张),形成了近EW向中央海盆,南海构造演化进入断拗转换阶段,由断陷逐渐转变为拗陷。海底扩张阶段沉积了2套重要的储层,即三亚组三角洲相—滨海相砂岩和梅山组浅水生物礁碳酸盐岩。中中新世末,南海北部发生东沙运动,造成盆地隆起剥蚀,形成褶皱、断裂和频繁的岩浆活动;南海南部发生南沙运动,文莱—沙巴地区碰撞造山,文莱—沙巴前陆盆地开始发育。

中中新世以来,南海进入区域性热沉降阶段(拗陷期)。主要因菲律宾板块和太平洋板块NWW向俯冲,同时印度板块—澳大利亚板块NNW向俯冲,南海海底停止扩张。

2 油气藏分类及典型油气藏

南海在复杂的构造地质背景下,蕴含着丰富的油气资源。截至目前,南海已发现600余个油气藏,类型复杂,理清这些油气藏类型,明确这些油气藏的分布规律具有重要意义。

2.1 南海已知油气藏分类

南海油气藏主要有3大类,即构造圈闭型、岩性圈闭型和复合型。构造圈闭型进一步细分为背斜型、断背斜型、断块(鼻)型;岩性圈闭型可分为生物礁滩型和深水水道型;复合型可分为构造-岩性型和基岩潜山型(表2,图1)。

表2 南海海域主要油气藏类型

大类	亚类	典型油气藏
构造圈闭型	背斜	崖13-1气田、东方1-1气田
	断背斜	惠州油田群、文昌油田群、Kinabalu油气田
	断块(鼻)	涠西南油田群、番禺气田群
岩性圈闭型	生物礁滩	流花11-1油田、F6凝析油气田、马兰帕亚凝析油气田、L构造气藏
	深水水道	陵水22-1气藏
复合型	构造-岩性型	荔湾3-1气藏、东方13-2气藏、Kikeh油藏
	基岩潜山	白虎油田、大熊油田

构造圈闭型油气藏 以渐新统—中新统砂岩为储层的各种构造型油气藏在南海普遍存在,典型的有披覆背斜气田(崖13-1气田)、泥底辟背斜气田(东方1-1气田)。

岩性圈闭型油气藏 以中新统礁滩相灰岩为储层的生物礁滩型油气田和中新统海底扇砂岩、深水水道砂岩油气藏为主,生物礁滩型如珠江口盆地流花11-1油田、L构造气藏、F6油气田、马兰帕亚油气田等是在断块高地上生长的生物礁的礁隆构造上形成的,也属于这类油气田。深水水道型如琼东南盆地陵水22-1气藏。

复合型油气藏 以渐新统浊积扇砂岩为储层形成的地层-断背斜复合油气藏,如荔湾3-1气藏。以前新生界花岗岩缝隙为储层的缝隙型基岩潜山油气田仅在越南西南部海域发现,如白虎油田、大熊油田^[9]。

2.2 南海典型油气藏特征

2.2.1 构造圈闭型油气藏

该类型油气藏主要与各盆地的构造演化有关,因各盆地所处构造位置和演化的不同,构造圈闭类型与形成时间均有差异(表3)。该类型油气藏典型的有莺歌海盆地东方1-1气田、琼东南盆地崖13-1气田等。

表3 南海海域不同构造区构造圈闭类型

构造区	构造圈闭类型	圈闭主要形成时间
北部断陷伸展带	断背斜、滚动背斜、断块(鼻)	渐新世、中新世
南部断陷伸展带	断背斜、滚动背斜、断块(鼻)	渐新世、中新世
西部走滑裂陷带	挤压背斜、反转背斜、断块(鼻)	渐新世、中新世
南缘逆冲推覆带	挤压背斜、反转背斜	中新世、上新世

(1) 莺歌海盆地东方 1-1 气田

莺歌海盆地位于南海北部陆缘的西部,是非常独特的新生代走滑伸展型盆地,盆地坳陷中心发育中央泥拱构造。东方 1-1 气田就位于中央泥拱带的西北部,分布面积 287.7 km²,已探明天然气地质储量约为 1 000×10⁸ m³。

东方 1-1 构造是由深部泥岩在高温高压下塑性流动上拱,使上覆地层局部隆起变形而形成的大型泥底辟背斜构造,泥底辟活动主要发生在中新世晚期以后,可能与盆地右旋剪切、深部地幔软流圈隆起、岩石圈减薄等因素有关。东方 1-1 气田的主力气源岩是梅山组,它目前仍处在生气高峰期。黄流组 and 莺歌海组是气田的主要储层,前者处于扇三角洲前缘及平原相带,分流河道砂体发育,分布广;后者发育三角洲、三角洲斜坡扇、盆底扇和低位浊积体。莺歌海组以厚层泥质岩沉积为主,是良好的区域盖层;第四系乐东组的泥岩成岩性较差或未成岩,但由于厚度大,有一定的压实作用,仍能成为超浅层气藏的盖层。东方 1-1 气田成藏的主要油气运移通道是由断裂与砂体相互配置所构成的纵横交错的输导体系,该体系的主要特征是分布在底辟体的上方及周围,天然气通过断裂连通砂体和砂体连通断裂这 2 种方式进行运移。东方 1-1 构造正好处于盆地的主要生烃区,纵向上烃源岩、储集岩和封闭岩配置好,由早期超压流体活动产生的断层和裂缝为天然气的垂向运移提供通道^[20]。

(2) 琼东南盆地崖 13-1 气田

崖 13-1 气田位于南海北部琼东南盆地崖城凸起西缘,是在前新生代变质基底高点上发育的披覆背斜型继承性断背斜构造气藏,天然气探明储量为 968×10⁸ m³,控制储量为 109×10⁸ m³。

崖 13-1 气田的烃源岩是渐新统崖城组煤系地层^[11-12,21],它广泛分布于气田相邻的乐东凹陷和崖南凹陷。气田储层为陵水组三段砂岩,该套砂岩具有分布广、厚度大的特点^[18]。盖层是海侵环境下形成的中新统梅山组、三亚组泥岩,为良好的区域性盖层,直接覆盖于烃源岩、储层之上。崖 13-1 气田成藏模式(图 3)为“下生上储、断层垂向运移”^[13]。该模式代表了南海陆架区大部分砂岩构造油气藏的成藏模式:以断陷期湖相、断拗转换期海陆过渡相煤系为主要烃源岩,三角洲、扇三角洲潮汐沙坝等为储层,层间泥岩为盖层;断鼻、断块、断背斜等为主要圈闭类型。

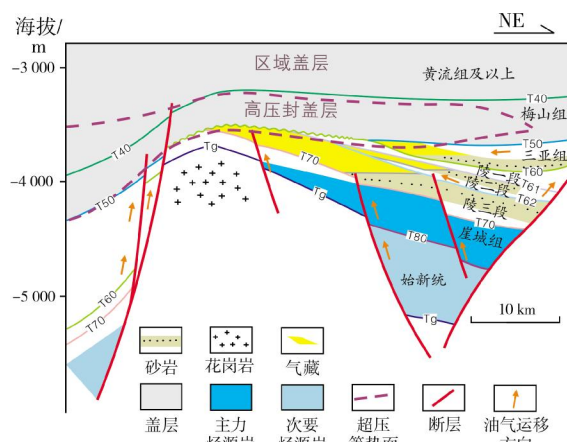


图 3 琼东南盆地崖 13-1 气田成藏模式图

(据文献[9-10]修改)

2.2.2 岩性圈闭型油气藏

可分为生物礁滩和砂岩 2 类岩性油气藏,根据沉积相不同,后者可细分为海底扇和深水水道油气藏。生物礁滩油气藏主要分布在南海南部,北部也有发育,但数量相对较少;而海底扇和深水水道油气藏主要分布在南海北部。三亚组、梅山组和黄流组是生物礁滩油气藏的主要分布层位(图 4),梅山组和黄流组是海底扇和深水水道油气藏的主要分布层位。

典型的生物礁滩油气藏有珠江口盆地流花 11-1 油田,典型的深水水道油气藏有琼东南盆地陵水 22-1 气田。

(1) 珠江口盆地流花 11-1 油田

流花 11-1 大型生物礁油田位于珠江口盆地东沙隆起西北端,是基底古隆起背景上的渐新一中新世生物礁油藏,包括北、西、东 3 个高点(图 5),圈闭面积达 116.8 km²,含油面积 83.1 km²,油层累计厚度达 31~39 m^[8],探明+控制储量为 24 015×10⁴ t。

流花 11-1 油田主力烃源岩是油田南北两侧凹陷中断陷阶段沉积的始新统文昌组湖相暗色泥岩^[7,22-23],次要烃源岩是下渐新统恩平组陆相生油层、上渐新统珠海组海陆交互相煤系地层和下中新统珠江组海相生油层。流花 11-1 油田的储层主要是中新统生物礁滩灰岩,盖层为下中新统上部—中中新统海相泥岩。流花 11-1 油田的油气富集与生烃、运移和聚集过程的时空配置密切相关。研究表明:油气聚集是通过东沙构造脊,历经超过 60 km 的长距离运移来实现的^[7],储层珠江组礁灰岩底部的一套厚度大而

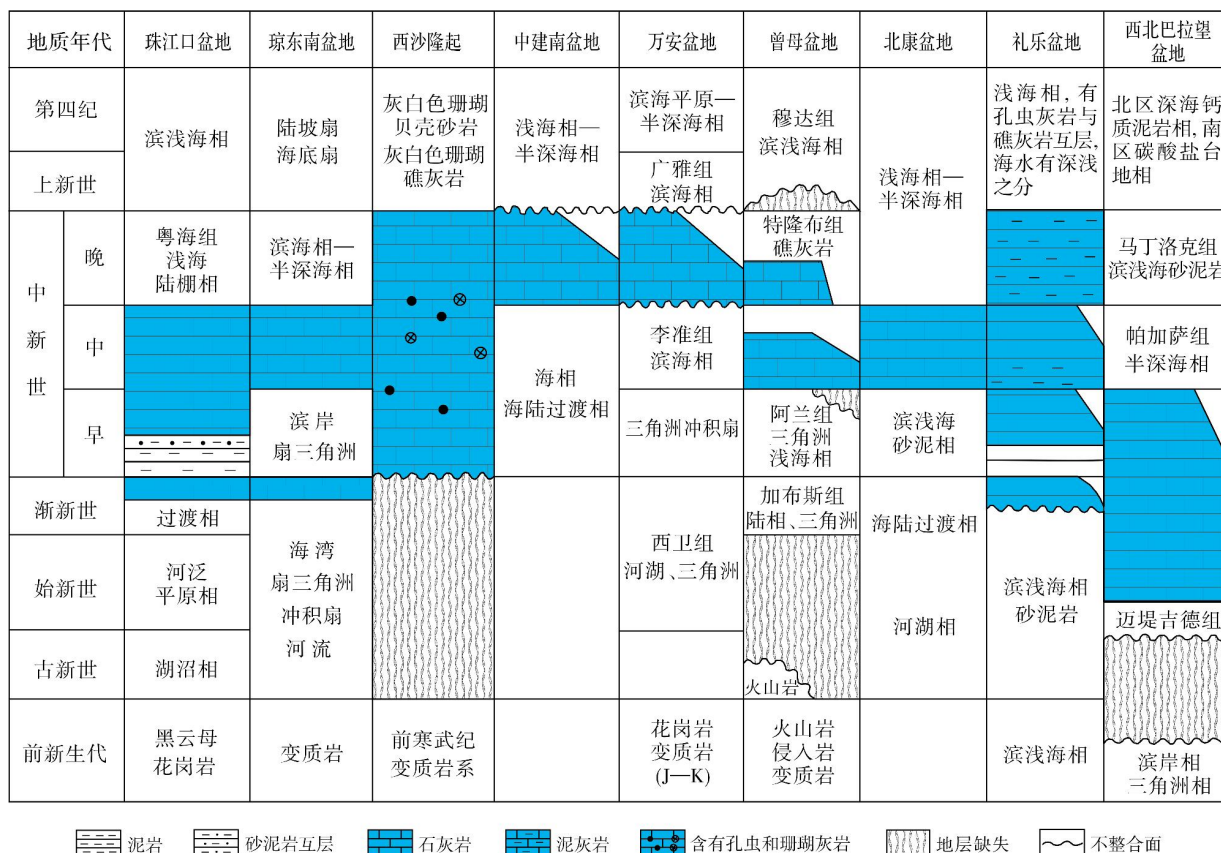


图4 南海不同地区碳酸盐岩发育对比图(据文献[24-28]修改)

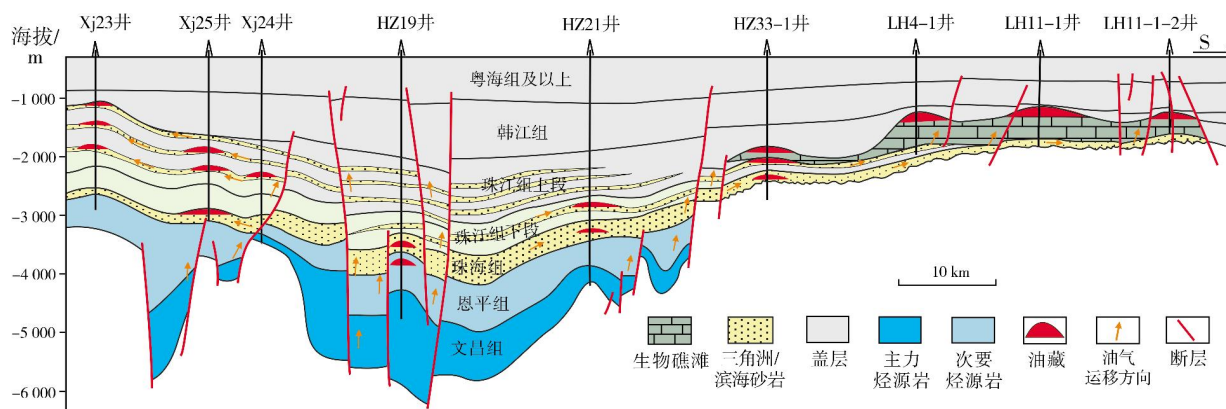


图5 珠江口盆地东沙隆起区生物礁成藏模式图(流花11-1油田)

稳定、物性好的滨岸相砂岩保证了油气的长距离运移聚集。流花11-1油田的成藏模式是“下生上储、断层与砂体侧向运移”(图5)。

(2) 琼东南盆地陵水22-1气田

陵水22-1气田位于琼东南盆地,是一个发育在南海北部陆坡区中央峡谷水道内的砂岩气藏,天然

气地质储量约 600×10^4 t油当量。

陵水22-1气田主力烃源岩是崖城组海陆过渡相含煤系地层,次要烃源岩是陵水组含腐殖型有机质海相泥岩;储层为莺歌海组深水水道砂岩;盖层为莺歌海组及以上区域性海相泥岩。天然气主要通过泥岩底辟伴生断裂和微裂隙向上运移^[29](图6)。

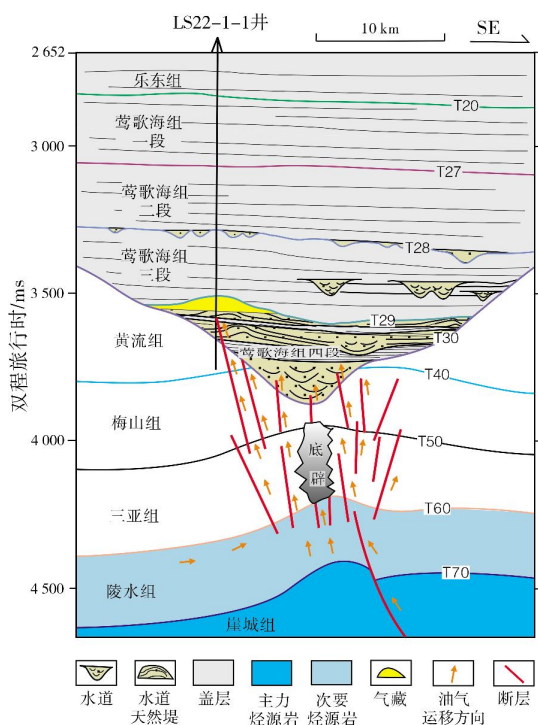


图6 琼东南盆地陵水22-1气田成藏模式图

2.2.3 复合型油气藏

复合型油气藏可细分为构造-岩性油气藏和基岩潜山油气藏。在南海北部,构造-岩性油气藏有珠江组(相当于三亚组)荔湾3-1、流花29-1和流花34-2气藏,黄流组东方13-2气藏;在南海西部,基岩潜山油气藏有涪盆地白虎油田、万安盆地大熊油田。

(1) 珠江口盆地荔湾3-1气田

荔湾3-1气田位于珠江口盆地南部深水区白云凹陷,是一个大型构造-岩性复合型气田,天然气控制+预测储量超过 $1200 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

荔湾3-1气田烃源岩主要为文昌组、恩平组含煤泥岩^[30],其次为珠海组泥岩。气田发育2套储层:下部的主要储层为发育规模巨大的上渐新统珠海组陆架浅水三角洲砂岩;上部储层主要为下中新统珠江组深水扇砂岩。气田盖层是一套在横向上厚度稳定且连续的下中新统上部—中中新统海相泥岩。荔湾3-1气田为“下生上储型”成藏模式:文昌组、恩平组生成的油气沿断层和流体底辟带垂向运移至深水扇砂岩储层,并在上覆海相泥岩的封盖条件下聚集成藏(图7)。

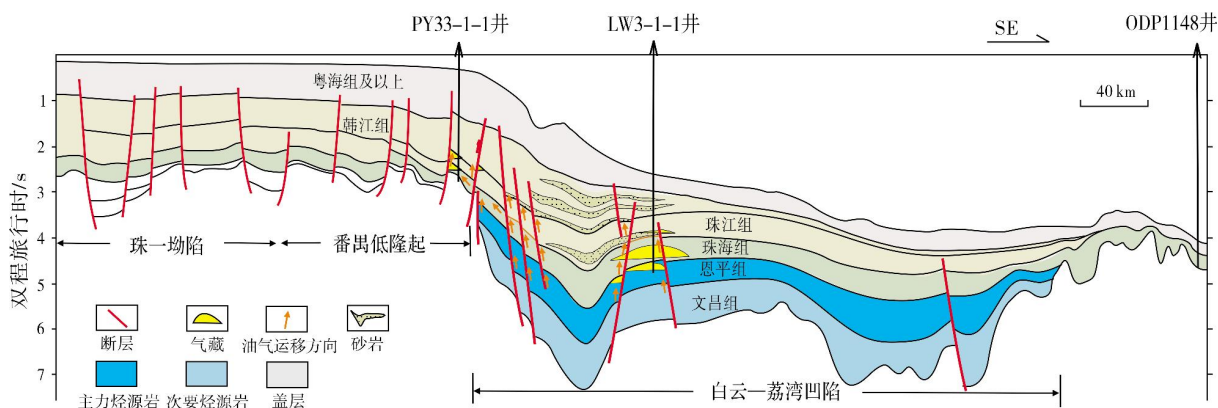


图7 珠江口盆地荔湾3-1气田成藏模式(据文献[9,21]修改)

(2) 涪盆地白虎基岩油田

白虎油田位于涪盆地东南部海域,为一大型岩性-构造复合油藏^[31],储量约 $(10 \sim 14) \times 10^8 \text{ bbl}$,其中约一半的储量储藏在基底。

白虎油田烃源岩主要为下中新统和渐新统富含有机质的泥岩、页岩^[32]。储层包括基底裂缝型花岗岩、渐新统—中新统砂岩^[22]。下渐新统茶甸(Tra Cu)组泥岩、页岩夹层为盖层。白虎油田油气运移主要以侧向和垂向2种运移方式运至上覆中新统碎屑岩储层中:侧向运移主要通过碎屑岩渗透层从生

烃凹陷运移至基底花岗岩和断层面中;垂向运移主要沿与基底有关的张性沉积断层进行。油气运移始于晚中新世及上新世,中新统以上的烃源岩在上新世才进入生油窗,至今仍在生排烃。总而言之,以断陷期煤系为主要烃源岩,地垒处花岗岩经裂缝作用和风化溶蚀改造为储层,上覆层间泥岩为盖层,构成油田新生古储成藏模式(图8)。该类成藏模式主要位于南海西缘走滑断裂带,涪盆地白虎油田和万安盆地西北部的大熊油田^[33]最为典型。

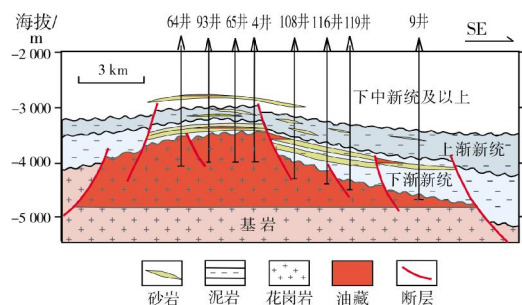


图8 涪公盆地白虎油田油藏剖面图(据文献[32]修改)

3 油气分布规律与控制因素

3.1 油气分布规律

截至2017年,南海共发现油气藏(田)600多个,累计探明石油可采储量近 $28 \times 10^8 \text{ t}$,天然气可采储量超过 $6 \times 10^{12} \text{ m}^3$,主要分布在南海11个盆地中,其中南海南部曾母盆地、文莱—沙巴盆地油气探明储量最大。

3.1.1 油气藏平面分布

在南海北部的断陷盆地如北部湾、珠江口和琼东南等盆地,油气藏主要分布在盆地的隆起或凸起部位,主要为构造圈闭型油气藏,以油为主;走滑盆地如莺歌海盆地因受红河断裂走滑的影响,沉积物巨厚,早期断陷期的沉积物已经深埋,早已过了油气生成期,已发现的油气藏主要分布在莺歌海坳陷和知尊地垒,受底辟作用影响,以构造型油气藏为主,同时发育构造-岩性复合型油气藏和岩性油气藏,如以海底扇砂岩为储层的构造-岩性复合型油气藏和生物礁滩型油气藏。

在南海南部的曾母盆地南部和文莱—沙巴盆地,受古南海由西向东“剪刀式”俯冲、缝合的影响,地层发生强烈挤压、褶皱,形成了以构造圈闭型为主的油气藏;曾母盆地北部则以岩性油气藏(生物礁滩型油气藏)为主。北康盆地和南薇西盆地勘探程度较低,根据其构造背景和已有的地震资料分析,认为同时存在构造圈闭型和生物礁滩型油气藏。

在南海西部,万安盆地和涪公盆地早期为断陷盆地,同时受到越东断裂带走滑的影响,主要形成构造圈闭型和基岩潜山型油气藏。

总体上,油田主要分布在靠近南海周缘的陆块;气田的分布则往海盆延伸,更靠近中央海盆。靠近南海周缘以构造、潜山等油气藏类型为主;远离大陆边缘,逐渐由生物礁滩、深水水道等岩性油气藏类型占据主导。

3.1.2 油气藏纵向分布

南海油气在纵向上的分布与3个构造演化阶段

密切相关。断陷末期,受周边板块碰撞的影响,南海古近系普遍受到强烈挤压、褶皱、抬升和剥蚀,形成区域性不整合面(T60),从而在古近系内(T60界面以下)形成了一系列构造型圈闭(断块、断背斜等),所以古近系是构造型圈闭分布最多的层位。断拗转换阶段继承发育了大型披覆背斜、断背斜等构造型圈闭,同时,沉积相也由陆相—海陆过渡相演变为海陆过渡相—浅海相,从而发育了大量的砂岩、生物礁储层,因此,中新世是南海生物礁发育的全盛时期,大量生物礁油气藏在南海南部曾母等盆地形成。区域性沉降阶段则形成了大量的深水河道,并在其中发育了砂岩储层,因此,在南海北部发育了深水水道油气藏。

目前的勘探显示,南海的3个构造演化阶段中,以断拗转换阶段形成的储层最为发育,对应的油气分布也最广,已发现的油气藏主要分布在中新统,中新统油气储量占比最大。

南海油气在纵向上的分布还与盆地所处的构造位置有很大关系。在南海南部,特别是文莱—沙巴盆地,受古南海俯冲碰撞影响,中新统和上中新统受到强烈挤压褶皱,形成大量成排分布的背斜构造^[34],因此文莱—沙巴盆地以发育大量构造圈闭型油气藏为主。在南海西部,受走滑带的影响,莺歌海盆地的气藏主要分布在上中新统黄流组和新统莺歌海组,层位较浅;涪公盆地和万安盆地的油藏则分布在前新生界花岗岩中。从油气储量的纵向及地理分布看,南海南部油气储量明显较北部丰富,且储集层位偏新。

同时,各盆地因所处构造位置的差异,油气分布层位也有差异,表现为:①北部湾盆地的油气主要富集在始新统、渐新统滨海滩坝砂岩中,中新统滨海相砂岩次之,有少数富集在石炭系古潜山中;②珠江口盆地珠一坳陷和珠三坳陷的油气主要赋存于上渐新统、下中新统滨海、浅海相砂岩中,珠二坳陷主要富集在下中新统半深海相浊积砂岩中,东沙隆起则富集在早—中中新统生物礁储层中;③琼东南盆地储层主要为上渐新统滨海相砂岩;④莺歌海盆地主要赋存于莺歌海坳陷和知尊地垒的中上中新统河道、三角洲和滨海相砂岩中,部分在古近系扇三角洲和前新生界基岩中,南部主要赋存于中中新统生物礁碳酸盐岩中;⑤涪公盆地主要赋存于前新生界花岗岩裂缝型储层,渐新统和下中新统三角洲相砂岩中有部分油气富集;⑥万安盆地西北部的油气主要富集于中新统滨岸三角洲相砂岩,南部富集于中中新统生物礁碳酸盐岩中,少数富集于前新生界基岩储层;⑦曾母盆地西部斜坡和南康凸起主要赋存于中中新统碳酸盐岩,巴林坚凹陷主要富集于下中新统滨海相三角洲砂岩

中;⑧文莱—沙巴盆地主要富集于中上中新统、上新统滨岸三角洲、滩坝和半深海浊积砂岩中;⑨西北巴拉望盆地主要富集于下中新统生物礁碳酸盐岩中。

3.2 油气分布主要控制因素

南海3个构造演化阶段对油气形成和成藏有不同的影响。

(1)断陷期、断拗转换期控制了南海主要烃源岩的发育和分布

始新世是陆相断陷湖盆发育的鼎盛时期,也是南海湖相烃源岩的主要发育期;渐新世,陆相断陷湖盆萎缩,盆地构造沉降减缓,出现大面积湖泊—沼泽环境,形成了湖相、湖沼相及海陆过渡相烃源岩,是海陆过渡相烃源岩的主要发育期;中新世发生区域性拗陷和大范围海侵,是海相烃源岩的主要发育期,但该套烃源岩时代较新、埋藏较浅、成熟度较低,因而其生烃能力较差,但在地温梯度相对较高的地区,仍有较高的生烃能力。总的来说,断陷期的湖相泥岩和断拗转换期的海陆过渡相含煤地层是南海主要的烃源岩。

(2)断陷期、断拗转换期和拗陷期控制了南海不同类型储集岩的发育和分布

南海主要有4种储层类型:三角洲—滨浅海砂岩、深水沉积砂岩、碳酸盐岩生物礁滩、基岩风化壳。

前新生界基底曾遭受长期的风化剥蚀,花岗岩基岩溶蚀后可形成潜山储集体,主要形成于断陷期前;断陷阶段主要形成三角洲—滨浅海砂岩储层,分布在断陷期与断拗转换期之间的T60不整合面附近,不整合面上下的砂岩为主要有效储层;碳酸盐台地、生物礁滩主要在断拗转换期形成;深水沉积砂岩主要在拗陷(区域沉降)期形成。多类型储层的形成为油气聚集提供了很好的储集空间。

(3)断陷期、断拗转换期和拗陷期控制形成了南海多种有效圈闭类型

断陷期在盆地不同部位发育不同的断裂和构造带,与不同的储集体相配合,形成数量众多、规模及类型不同的有效圈闭类型:在断陷陡坡带大断层下降盘,发育以牵引背斜为主的圈闭类型,在盆地边缘以地层超覆圈闭类型为主;在断陷斜坡带上,可发育断层遮挡、地层-岩性、披覆背斜及古潜山等圈闭类型。因此,断陷阶段主要控制断块、断背斜、断鼻等构造型油气藏,如惠州油田群、涠西南油田群和文昌油田群。断拗转换期,主要形成以生物礁滩为储层的岩性圈闭,同时继承发育披覆构造,可以说断拗转换阶段主控了生物礁滩型岩性油气藏和构造-岩性复合油气藏。拗陷期在陆坡处形成深水水道和深水沉

积砂岩,拗陷期控制了深水水道型砂岩岩性油气藏。

(4)断陷期、断拗转换期为油气运移提供了有效通道

南海油气运移的方式主要有垂向运移和侧向运移,这2种运移方式都与不同构造演化阶段的构造运动密切相关,断陷期、断拗转换期控制了垂向运移断层的形成,以及侧向运移的不整合面和砂体的形成。

断陷期、断拗转换期的构造运动形成了不同走向的断裂体系,有NE、NEE—EW及NW向断裂,这些断裂体系成为油气向上运移的主要通道。T60为断陷期与断拗转换期之间的不整合面,与我国东部普遍存在的古近系与新近系之间的不整合面一致;T40为断拗转换期与拗陷期之间的不整合面,断裂一般到该界面停止活动。这2个不整合面上下的地层因风化作用形成的孔隙,一方面可作为储层,另一方面也为油气侧向运移提供了有效通道。

4 结 论

(1)南海油气藏主要有3大类,即构造圈闭型、岩性圈闭型和复合型。构造圈闭型分为背斜、断背斜、断块(鼻);岩性圈闭型可分为生物礁滩型和深水水道型;复合型可分为构造-岩性型和基岩潜山型。

(2)平面上看,构造圈闭型油气藏主要分布在靠近南北2大陆缘地区,以油藏为主;岩性圈闭型主要发育在远陆缘的陆架陆坡区,以气藏占优。西部走滑陆缘多发育复合型油气藏,西北部以构造-岩性复合型气藏为主,西南部以基岩潜山复合型油藏为主。

(3)3个构造演化阶段基本决定了油气藏类型。断陷期为主要烃源岩发育期,为南海奠定了坚实的烃源岩基础。断陷末期及断拗转换期是构造圈闭型油气藏的主要形成期,断拗转换期在远陆缘区同时发育生物礁油气藏;此时期南海南部受碰撞造山影响,使盆地具前陆性质,因此同为构造型油气藏,但其发育时间和层位具有北早南晚的特征。拗陷期在南海北部发育了深水水道型岩性油气藏。从油气发现数量上看,断拗转换期、断陷期油气分布最多。

参考文献

- [1] 郭令智,施央申,马瑞士. 西太平洋中、新生代活动大陆边缘和岛弧构造的形成及演化[J]. 地质学报, 1983, 57(1): 11-21.
- [2] 林长松,初凤友,高金耀,等. 论南海新生代的构造运动[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 87-96.
- [3] 谢锦龙,黄冲,向峰云. 南海西部海域新生代构造古地理演化及其对油气勘探的意义[J]. 地质科学, 2008, 43(1): 133-153.
- [4] 胡见义. 石油地质学前缘[M]. 北京:石油工业出版社, 2002: 96-143.
- [5] 姚伯初. 南海北部陆缘新生代构造运动初探[J]. 南海地质

- 研究, 1993, 5: 1-12.
- [6] 蔡乾忠. 中国海域油气地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 161-167.
- [7] 解习农, 张成, 任建业, 等. 南海南北大陆边缘盆地构造演化差异性对油气成藏条件控制[J]. 地球物理学报, 2011, 54(12): 3283.
- [8] 寇养琦, 杜德利. 南海海域大油气田与中国东南海区油气地质分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4): 1-11.
- [9] 吴敬武, 张强, 吴时国, 等. 南海大中型油气田成藏特征与控制因素[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(6): 3106-3116.
- [10] 史建南, 郝芳, 邹华耀. 琼东南盆地13-1高效天然气藏成藏机理研究[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 807-809.
- [11] 孙嘉陵. 南海崖13-1气田特征及富集成藏条件[J]. 天然气工业, 1994, 14(2): 1-8.
- [12] 陈红汉, 付新明, 杨甲明. 莺-琼盆地YA13-1气田成藏过程分析[J]. 石油学报, 1997, 18(4): 32-36.
- [13] 胡忠良, 肖贤明, 黄保家, 等. 琼东南盆地崖13-1气田气源区圈定与成藏运聚模式[J]. 地球化学, 2005, 34(1): 66-71.
- [14] 刘海龄, 孙岩, 郭令智, 等. 南沙微板块边界的动力学演化[J]. 海洋学报, 2001, 23(5): 95-103.
- [15] 曹敬贺, 夏少红, 孙金龙, 等. 珠江口盆地北部断裂构造特征对比及其地质学意义[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2364-2369.
- [16] 夏斌, 崔学军, 谢建华, 等. 关于南海构造演化动力学机制研究的一点思考[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 221-227.
- [17] 黄学猛, 许志琴, 张进江. 哀牢山—红河断裂带新生代构造转换及其动力学机制[J]. 地球学报, 2017, 38(增1): 7-10.
- [18] 郭令智, 钟志洪, 王良书, 等. 莺歌海盆地周边区域构造演化[J]. 高校地质学报, 2001, 7(1): 1-12.
- [19] 张翀, 吴世敏, 丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 61-70.
- [20] 赵必强, 肖贤明, 胡忠良, 等. 莺歌海盆地东方1-1气田天然气来源与运聚模式[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 156-161.
- [21] 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海北部白云深水区之基础地质[J]. 中国海上油气, 2008, 20(4): 215-221.
- [22] 陈长民. 珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探[J]. 中国海上油气(地质), 2000, 14(2): 73-83.
- [23] SANGREE J B. Use of seismic stratigraphy in carbonate rocks, Natuna D-Alpha block example[C]//Indonesian Petroleum Association. 10th annual convention proceedings, 1981: 135-152.
- [24] 魏喜, 祝永军, 尹继红, 等. 南海盆地生物礁形成条件及发育趋势[J]. 特种油气藏, 2006, 13(1): 10-15.
- [25] 钱光华, 樊开意. 万安盆地地质构造及演化特征[J]. 中国海上油气, 1997, 11(2): 73-79.
- [26] 刘昭蜀. 南海地质构造与油气资源[J]. 第四纪研究, 2000, 20(1): 69-77.
- [27] 钟建强, 黄慈流, 詹文欢, 等. 南海曾母盆地新生代晚期构造沉降分析[J]. 黄渤海海洋, 1994, 12(2): 40-46.
- [28] 吴进民, 杨木壮. 南海西南部地震层序的时代分析[J]. 南海地质研究, 1994, 6: 16-29.
- [29] 刘静静, 刘震, 王子嵩, 等. 琼东南盆地深水区中央峡谷天然气藏输导模式研究[J]. 石油实验地质, 2019, 41(2): 193-199.
- [30] 朱俊章, 施和生, 何敏, 等. 珠江口盆地白云凹陷深水区LW3-1-1井天然气地球化学特征及成因探讨[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(2): 229-233.
- [31] TAN T K, BO N Q. Geological modelling and reservoir properties of basement rocks of the south Vietnam continental shelf [C]//Indonesian Petroleum Association, Proceedings of the Petroleum Systems of SE Asia and Australasia Conference, 1997, PO-10: 539-544.
- [32] IHS Energy Group. IHS oil and gas field, basins data [DB/OL]. (2009-07-01) [2019-09-15]. <http://www.ihs.com/products/oil-gas-information/basins-data/monitors>.
- [33] 何炳文. 万安盆地大熊油田的勘探和开发[J]. 海洋地质动态, 1994, 10(1): 19-20.
- [34] CULLEN, A B. Transverse segmentation of the Baram-Balabac Basin, NW Borneo: refining the model of Borneo's tectonic evolution[J]. Petroleum geoscience, 2010, 16(1): 3-29.

编辑: 张润合

Types and distribution of oil and gas reservoirs in the South China Sea

WU Jingwu, SUN Guozhong, LU Yintao, ZHANG Qiang, WANG Bin,

YANG Taotao, YANG Zhili, LI Li, ZHANG Yuanze

Abstract: Based on the analysis of the Cenozoic plate activity around the South China Sea (SCS), it is considered that the tectonic evolution of the SCS is controlled by the interaction among the three plates of the Pacific, Eurasia and India, and can be divided into three stages: rifting stage (E), fault-depression transition stage (N_1^1 — N_1^2) and regional subsidence stage (N_1^3 —present). The discovered oil and gas reservoirs in the SCS can be divided into three types: structural type, lithologic type and composite type. Further, the structural type can be divided into anticline type, fault-anticline type and fault block (nose) type; the lithologic type can be divided into reef beach type and deepwater channel type; the composite type can be divided into structural-lithologic type and bedrock buried-hill type. It is considered that the three stages of tectonic evolution control the formation of different types of traps and reservoirs, thus controlling the distribution of three types of oil and gas reservoirs. Structural reservoirs are mainly distributed in the southern and northern sides of the SCS near the continental margin, most of which are oil fields; reef-beach reservoirs are distributed far from the continental margin, most of which are gas fields. In strike-slip fault basins in the west of SCS, not only structural reservoirs but also complex reservoirs developed. The structural and reef-beach reservoirs have the characteristics of forming early in north and late in south. In the west strike-slip basin, many composite oil and gas reservoirs developed, with structure-lithology being dominant in northwest, with the bedrock buried-hill being dominant in southwest, which developed early in the south than in the north. Deep-water channel reservoirs are concentrated in the Upper Miocene—Pliocene latest.

Key words: tectonic activity; tectonic evolution; reservoir type; oil and gas distribution; South China Sea

WU Jingwu, First author: MSc, Senior Engineer, engaged in basin structure and petroleum geology. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China